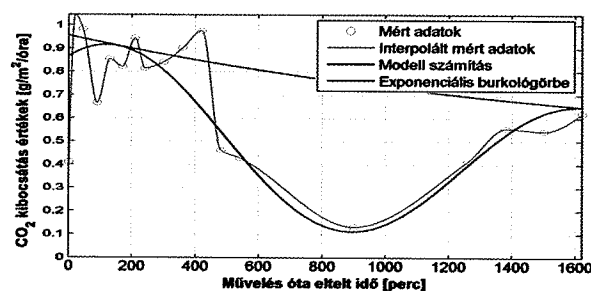
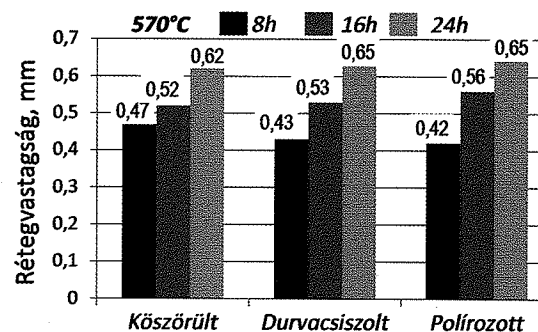
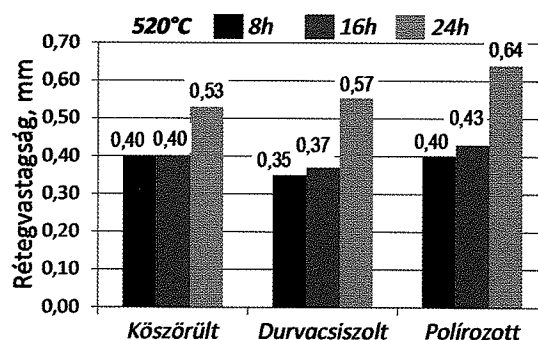
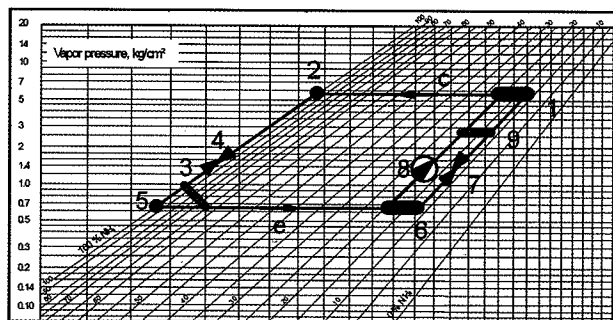
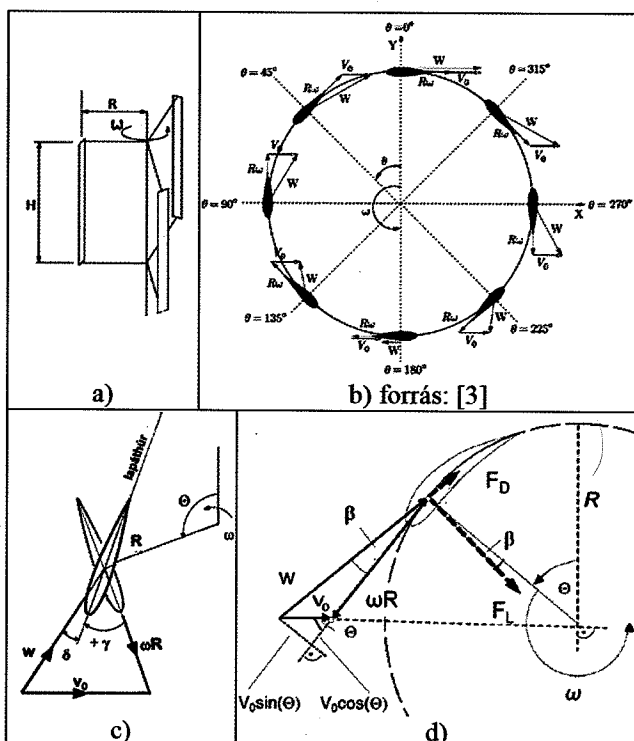


GÉP

A GÉIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



TARTALOM

1. Budai D.; Tisza M.:

Fejlesztési irányok az alumínium karosszériagyártásban 5

Az alumínium alkalmazása a személyautó gyártásban a legfontosabb tömegcsökkentő eszköz. Az acélhoz szokott gyártók azonban nehezen birkóznak meg az alumínium kedvezőtlen alakítási és kötési tulajdonságaival. A kutatók az alakítási hőmérséklet és sebesség optimalizálásától várják a legkedvezőbb eredményeket.

2. Hajdú S.; Czibere T.; Kalmár L.:

Szabadon álló járókerekkű, keresztáramú turbina indítása 11

Szerzők a szabadon álló, párhuzamos lapatozású, keresztáramú turbina fontosabb működési sajátosságait foglalják össze. Áttekintik az alkalmazhatóság javításához szükséges fejlesztési (többek között) indítási jellemzőket. Az alkalmazott viszonylag egyszerű modell fontos következtetések levonására alkalmas.

3. Ecsedi I.; Baksa A.:

Peremén rugalmas gyűrűvel erősített forgó tárcsa szilárdságtani vizsgálata 15

A cikk a hengeres peremén rugalmas gyűrűvel erősített forgó tárcsa feszültségviszonyainak számításával foglalkozik. A feszültség és radiális elmozdulások meghatározására összefüggéseket vezetnek le és meghatározzák a szögsebesség kritikus értékét is.

4. Farkas J.; Jármay K.:

Hegesztett szerkezetek minimális térfogatra, illetve költségre optimált változatának összehasonlítása 19

Szerzők a minimális térfogatra való optimalizálás után kidolgozták a jóval bonyolultabb költségmi-

nimum alapú optimalizálást. A kétféle célfüggvény alkalmazása az optimalizálás során egyszerűbb hegesztett szerkezeteknél kisebb, összetettebb szerkezeteknél nagyobb különbségekre vezet.

5. Krámer Gy.; Siménfalvi Z.; Szepesi L. G.:

Ammónia-víz rendszerű abszorpciós hűtési folyamat hatásosságának és hőigényének számítási módszere 24

A cikk egy módszert mutat be a az abszorpciós hűtési folyamat hatásosságának és hőigényének becslésére. Szerzők célként fogalmazták meg a bonyolult adatbázisok és költséges professzionális szoftverek használatának mellőzését. A számításokhoz szerzők egy korábbi munkájuk hőtani adatait használják.

6. Marosné Berkes M.; Szilágyiné Biró A.; Lőrincz A.; Koncsik Zs.:

Műszerezett karcvizsgálat alkalmazása karbonitridált acélok felületi rétegének minősítő eljárásában 28

Nemesíthető ötvöztött acélon különböző hőmérsékleteken és hőntartási időkkal karbonitridált rétegeket hoztak létre. A felületi rétegek minősítő vizsgálatára a hagyományos keménységmérési és optikai mikroszkópos vizsgálatok mellett újszerű karcvizsgálati eljárást javasolnak.

7. Rádics J. P.; Jóri J. I.; Fenyvesi L.:

Talaj CO₂ kibocsátási modell validálása nemlineáris regresszió analízissel 36

A szerzők által kidolgozott emissziós modell és az alkalmazott nemlineáris regressziós analízis lehetővé teszi a talajok gázemissziójának számítását/becslését. A modell alkalmas különböző földművelő módszerek és eszközök hatására bekövetkező széndioxid kibocsátásának összehasonlítására.

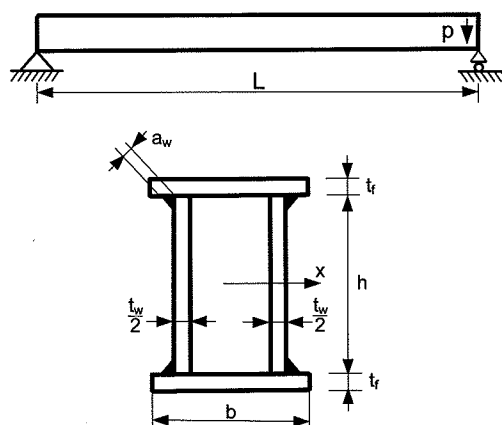
Hegesztett szerkezetek minimális térfogatra illetve költségre optimált változatának összehasonlítása

Comparison of welded structures optimized for minimum volume and cost

Farkas József*, Jármai Károly**

ABSTRACT

The study shows the difference between structures optimized for minimum volume and minimum cost. The cost function contains the cost of material, cutting and grinding of circular hollow section rod ends, assembly, welding and painting. A simply supported welded box section beam and a cantilever tubular truss are investigated. The minimization of the volume and cost results in different structural sizes, but the cost difference between the two optima is small. In the case of more complicate structures the difference between the costs of optima can be larger, since the fabrication (welding) cost can be larger.



1 BEVEZETÉS

A minimális térfogatra való optimalítás előnye, hogy a célfüggvény matematikailag aránylag könnyen kezelhető. A gazdaságosság követelménye viszont a költségek minimálását kívánja. Ezért kidolgoztuk a hegesztett szerkezetekre jól alkalmazható költség-számítást [1,2,3,4], így célfüggvényként matematikailag bonyolultabb költségfüggvényt alkalmazunk. A kétféle célfüggvénnyel optimált szerkezetek összehasonlítása hasznos következtetéseket eredményez a tervezők számára. Ezért e tanulmányban elvégezzük ezt az összehasonlítást egy szekrényszelvényű kéttámaszú tartó és egy rácsos csőszerkezetű konzolos tartóra.

2 SZEKRENYSZELVÉNYŰ KÉTTÁMASZÚ TARTÓ

2.1 Optimalítás minimális térfogatra (keresztmetszeti területre)

Az 1. ábrán vázolt szekrényszelvényű kéttámaszú tartó esetén négy változót kell optimalítani (h , t_w , b , t_f). Ha a keresztmetszet a tartó mentén állandó, térfogat helyett elég a keresztmetszeti területet optimalítani.

A keresztmetszeti terület

$$A = ht_w + 2bt_f \quad (1)$$

* Prof. Emeritus, **Professzor, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc

1. ábra. Szekrényszelvényű kéttámaszú tartó

A feszültségi feltétel hajlításra

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_x} \leq f_{y1} \quad \text{vagy} \quad W_x \geq \frac{M}{f_{y1}} = W_0 \quad (2)$$

A másodrendű nyomaték és a keresztmetszeti tényező

$$I_x = \frac{h^3 t_w}{6} + 2bt_f \left(\frac{h}{2} \right)^2; \quad \bar{W}_x = \frac{I_x}{h/2} = \frac{h^2 t_w}{3} + bt_f h \quad (3)$$

A hajlító nyomaték egyenletesen megoszló teher esetén

$$M = p_s L^2 / 8, \quad (4)$$

Ha a tartó saját tömegéből származó terhet is figyelembe vesszük, akkor az alábbi megoszló teherintenzitással számolnánk

$$p_s = 1.5p + 1.1\rho_1 A, \quad \rho_1 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3 \quad (5)$$

az 1.5 illetve az 1.1 részbiztonsági tényezők. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért a második tagot elhanyagoljuk.

A gerinclemezek horpadási feltétele

$$\frac{h}{t_w/2} \leq \frac{1}{\beta}; \quad \text{vagy} \quad t_w \geq 2\beta h \quad (6)$$

ahol

$$1/\beta = 69\varepsilon; \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (7)$$

A felső nyomott övlemez horpadási feltétele

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1}{\delta} = 42\varepsilon, \quad \text{vagy} \quad t_f \geq \delta b \quad (8)$$

A számítások szerint a horpadási feltételeket aktívnak vehetjük, így

$$W = \frac{\beta h^3}{3} + b t_f h \geq W_0 \quad (9)$$

$b t_f$ -et a (9)-ből az (1)-be helyettesítve

$$A = \frac{2W_0}{h} + \frac{4\beta h^2}{3} \quad (10)$$

A

$$\frac{dA}{dh} = 0 \quad (11)$$

feltételből a feszültségi feltételt kielégítő optimális tartómagasság

$$h_\sigma = \sqrt[3]{\frac{3W_0}{4\beta}} \quad (12)$$

2.2 Optimálás költségminimumra

A szükséges sarokvarrat-méret a tartómagasság függvényében

$$a_w = 0.3 t_w / 2 = 0.3 \beta h \quad (13)$$

de $a_{wmin} = 3$ mm.

A költségfüggvény tartalmazza az anyag-, hegesztési és festési költséget

$$K = K_M + K_W + K_P \quad (14)$$

$$K_M = k_M \rho A L, \rho = 7.85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3, k_M = 1 \text{ \$ / kg} \quad (15)$$

Hegesztési költség a négy sarokvarratra [1,2,3,4]

$$K_W = k_w (C_1 \Theta_c \sqrt{k \rho V} + 1.3 C_w a_w^2 L_w), k_w = 1.0 \text{ \$ / min} : \\ C_1 = 1.0 \text{ min/kg}^{0.5} \quad (16)$$

Az összeállítás bonyolultsági tényezője $\Theta_c = 2$, az összeszerelendő elemek száma $\kappa = 4$, a hegesztési együttható $C_w = 0.3394 \times 10^{-3}$, a varrathossz $L_w = 4L$.

Festési költség

$$K_P = k_p S, k_p = 28.8 \times 10^{-6} \text{ \$ / mm}^2, S = 4bL \quad (17)$$

2.3 Szám adatok és eredmények

$p = 90 \text{ N/mm}$, $L = 15 \text{ m}$, $f_y = 235 \text{ MPa}$. A (6) szerint a szükséges keresztmetszeti tényező $W_0 = 1841 \times 10^4 \text{ mm}^3$. Megjegyezzük, hogy a számítások szerint az öntőmeg hatása kicsi.

A közelítő (12) képlet szerint $h_{opt} = 972 \text{ mm}$.

Az optimálást a szisztematikus keresés módszerével, MathCAD programmal végeztük. Felvett h -hoz kerestünk a feszültségi feltételt kielégítő b értéket. A kapott térfogatokat és költségeket az 1. táblázat adja meg.

1. táblázat. Az optimálás eredményei. Az optimumokat vastag betűkkel jelöltük. $W_x \text{ mm}^3$ -ben

$h \text{ mm}$	$b \text{ mm}$	$W_x \cdot 10^{-4}$	$A \text{ mm}^2$	$t_w/2 \text{ mm}$	$a_w \text{ mm}$	$K_M \text{ \$}$	$K_W \text{ \$}$	$K_P \text{ \$}$	$K \text{ \$}$
1000	756	1844	56200	14.5	4.35	6618	826	1517	8961
995	759	1844	56130	14.4	4.33	6609	820	1515	8945
990	763	1841	56130	14.3	4.30	6609	816	1515	8940
985	767	1841	56140	14.2	4.28	6610	811	1514	8935
980	771	1842	56140	14.2	4.26	6611	806	1513	8930
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
940	802	1841	56240	13.6	4.09	6622	768	1505	8895
930	810	1842	56310	13.5	4.04	6631	758	1503	8893
920	818	1842	56400	13.3	4.00	6641	749	1502	8892
910	826	1842	56490	13.2	3.96	6652	741	1500	8893
900	834	1843	56600	13.0	3.91	6665	732	1498	8895

Látható, hogy az optimális tartómagasságok különböznek. Minimális térfogatra $h_{opt} = 990$ mm, minimális költségére $h_{opt} = 920$ mm, de a vonatkozó optimumokhoz tartozó költségek különbsége kicsi $100(8940 - 8892)/8940 = 0.5\%$. Az optimumok közti különbséget az eltérő varratméretek okozzák. A hegesztési költség csökkentése érdekében a varratméretet kell csökkenteni, de ez a $t_w/2$ -n keresztül függ a h -tól.

3 RÁCSOS CSŐSZERKEZETŰ KONZOL

3.1 Optimalizálás térfogatminimumra

Az N-típusú síkbeli rácsos tartó (1. ábra) vékonyfalú körcső-szelvényű (circular hollow section CHS) rudakból van csomólemezek nélkül összehegesztve. Négyféle CHS szelvényt alkalmazunk az alsó. felső övekhez ill. átlókhoz és oszlopokhoz.

1. rúdcsoport: a felső húzott rudak, ezekben a legnagyobb húzóerő

$$S_1 = 2aF/h \quad (18)$$

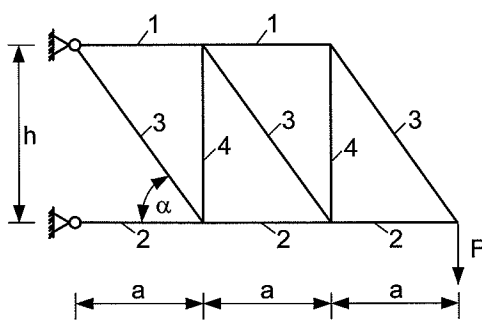
a szükséges keresztmetszet adatai

$$A_1 = S_1 / f_{y1}, f_{y1} = f_y / 1.1, D_1 = \sqrt{A_1 \delta / \pi}, t_1 = D_1 / \delta \quad (19)$$

f_y a folyáshatár, $\delta = D/t$ a CHS rúd karcsúsági tényezője max $\delta = 50$, amelyet a [5] ír elő. Megjegyezzük, hogy a gyártott CHS szelvényeknél ez általában kisebb.

2. csoport: az alsó nyomott övrudak, ezekben a max. erő

$$S_2 = 2aF/h \quad (20)$$



2. ábra. Párhuzamos övű rácsos csőszerkezetű konzol

Ezeket a rudakat kihajlásra kell méretezni. Az optimalizáláshoz szükségünk van a rudak keresztmetszeti területére. Az Eurocode 3 [6] által megadott kihajlásszámítási képletekből nem lehet közvetlenül kifejezni

ezeket, ezért a japán Közúti Hídszabályzat közelítő képleteit használjuk.

$$\frac{S}{A} \leq \chi f_{y1} \quad (21)$$

$$\chi = 1 \quad \text{ha} \quad \bar{\lambda} \leq 0.2 \quad (22a)$$

$$\chi = 1.109 - 0.545 \bar{\lambda} \quad \text{ha} \quad 0.2 \leq \bar{\lambda} \leq 1 \quad (22b)$$

$$\chi = \frac{1}{0.773 + \bar{\lambda}^2} \quad \text{ha} \quad \bar{\lambda} \geq 1 \quad (22c)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_E}, \lambda = \frac{kL}{r}, r = \sqrt{\frac{I_x}{A}}, \lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (23)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, I_x = \frac{\pi D^4}{64} \quad (24)$$

Bevezetjük az alábbi tényezőket

$$\vartheta = \frac{100D}{L}, c = \frac{100k\sqrt{8}}{\lambda_E}, v = \frac{10^4 S \delta}{L^2 f_{y1}} \quad (25)$$

ezekkel

$$\bar{\lambda} = \frac{c}{\vartheta} \quad (26)$$

és a kapott zárt képletek

ha $0.2\vartheta \leq c \leq \vartheta$

$$\vartheta = 0.24572c \left(1 + \sqrt{1 + \frac{14.93475v}{c^2}} \right) \quad (27a)$$

ha $\vartheta \leq c$

$$\vartheta = \left[0.3865v \left(1 + \sqrt{1 + \frac{6.69424c^2}{v}} \right) \right]^{1/2} \quad (27b)$$

Ismerve ϑ -t, a keresztmetszeti jellemzők

$$D = \frac{9L}{100}, t = \frac{D}{\delta}, A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (28)$$

A 2. csoport rúdjaire

$$k=0.9, L=a, \delta=50, S=S_2. \quad (29)$$

k a kihajlási hossz-tényező [7] szerint övrudakra 0.9, rácsos rúdakra 0.75.

3. csoport: húzott rácsrudak, rúderejük

$$S_3 = F \sqrt{\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 1} \quad (30)$$

és a keresztmetszeti területük

$$A_3 = \frac{S_3}{f_{y1}}, D_3 = \sqrt{\frac{A_3 \delta}{\pi}}, t_3 = \frac{D_3}{\delta} \quad (31)$$

4. csoport: nyomott rácsrudak, rúderezük

$$S_4 = F, \quad (32)$$

$$k = 0.75, L = h, \delta = 50, S = S_4 \quad (33)$$

A tartó térfogata

$$V = 2aA_1 + 3aA_2 + 3A_3 \sqrt{a^2 + h^2} + 2hA_4 \quad (34)$$

3.2 Optimalás költségminimumra

A költségfüggvényben figyelembe vesszük a CHS szelvényű rudak végeinek levágási és köszörülési költségét is.

Anyagköltség

$$K_M = k_M \rho V, k_M = 1.0 \text{ \$/kg} \quad (35)$$

A rúdvégak levágási és köszörülési költsége [1,2,3,4]

$$K_{CG} (\$) = \frac{2.5\pi D}{(350 - 2t)0.3 \sin \alpha} \quad (36)$$

350mm/min a vágási sebesség, 0.3 hatásfok, D és t mm-ben, α az átlók hajlásszöge, esetünkben

$$\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{a^2 + h^2}} \quad (37)$$

Az optimalizálandó tartó esetén

$$K_{CG} = \Theta_{CG} 2.5\pi \left[\frac{4D_4}{(350 - 2t_4)0.3} + \frac{6D_3}{(350 - 2t_3)0.3 \sin \alpha} \right], \Theta_{CG} = 3 \quad (38)$$

A hegesztési költség SMAW (kézi ívhegesztésű) sarokvarratokra

$$K_W = k_W \left[\Theta \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 \times 0.7889 \times 10^{-3} \left(4\pi D_4 t_4^2 + \frac{6\pi D_3 t_3^2}{\sin \alpha} \right) \right] \quad (39)$$

$$k_W = 1.0 \text{ \$/min}, \kappa = 7.$$

Festési költség

$$K_P = k_P S_P, k_P = 28.8 \times 10^{-6} \quad (40)$$

a festendő felület

$$S_P = 2\pi D_1 + 3\pi D_2 + 2\pi D_4 + 3\pi D_3 \sqrt{a^2 + h^2} \quad (41)$$

A teljes költség

$$K = K_M + K_{CG} + K_W + K_P \quad (42)$$

3.3 Szám adatok és eredmények

$$F = 600 \text{ kN}, a = 5000, f_y = 355 \text{ MPa}, E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}.$$

h -t lépcsőzetesen változtatva a szükséges rúd méreteket, a térfogatot és költséget MathCAD programmal számítottuk ki. Az eredményeket a 2. táblázat adja meg.

2. táblázat. Térfogat és költség a h függvényében. Az optimumokat vastag betűkkel jelöltük. Méretek mm-ben, térfogat mm³-ben, költségek \$-ban

h	$D_1 \times t_1$	$D_2 \times t_2$	$D_3 \times t_3$	$D_4 \times t_4$	V	K_{CG}	K_W	K_P	K
8500	187x3.7	262x5.2	185x3.5	231x4.6	2075	441	509	1376	3956
8000	192x3.8	268x5.4	185x3.7	227x4.6	2049	437	512	1345	3903
7500	198x4.0	275x5.5	189x3.8	222x4.4	2034	436	517	1317	3866
7000	206x4.1	283x5.7	191x3.8	218x4.4	2031	436	523	1292	3845
6500	213x4.3	292x5.8	193x3.7	214x4.3	2042	438	532	1271	3844
6000	222x4.4	302x6.0	196x3.9	209x4.2	2069	443	544	1255	3867
5500	232x4.6	314x6.3	200x4.0	205x4.1	2117	451	561	1243	3918

Meg kell jegyezni, hogy nem használtunk gyártott rúdszelvény méreteket, mert azokkal nem lehetett volna a különbségeket az optimumok között megállapítani.

Látható, hogy a tartómagasság a minimális térfogat esetén más, mint minimális költség esetén. Viszont a hozzájuk tartozó költségek csak kis mértékben térnek el.

4 KÖVETKEZTETÉSEK

A minimális térfogathoz illetve minimális költséghez tartozó szerkezeti méretek mindkét tartónál különböznek. Viszont a térfogat- ill. költségminimumhoz tartozó költségek nagyon kis mértékben térnek el egymástól. Ebből következik, hogy a térfogatminimum elég jól jellemzi az optimális szerkezetet.

A fenti következtetést nem lehet általánosítani, ugyanis az optimumok jelentősen függenek attól, hogy milyen a gyártási költség részaránya a teljes költséghez képest. Ez viszont szerkezetenként változó. Az 1. és 2. táblázatból látható, hogy a gyártási (hegesztési) költségek mindkét tartónál nem túl nagyok, viszont másfajta szerkezeteknél, amelyeknél sokkal több varratot kell alkalmazni, ezek sokkal jelentősebbek is lehetnek. Példa erre egy cellaszerkezetű lemez optimalása [8], ahol a vonatkozó minimális térfogatok illetve költségek a 3. táblázat szerint alakultak.

3. táblázat. A [8]-ban tárgyalt cellalemez minimális térfogatai illetve költségei

$V \times 10^{-9} \text{ mm}^3$	K \$
1.523	29980
1.803	24570

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást

biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg. A kutató munka részben a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében valósult meg, valamint az OTKA T 109860 projekt támogatásával.

IRODALOM

- [1] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Economic design of metal structures*. Millpress, Rotterdam, 2003.
- [2] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Design and optimization of metal structures*. Horwood, Chichester UK., 2008.
- [3] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Optimum design of steel structures*. Springer, Heidelberg etc, 2013.
- [4] FARKAS J, JÁRMAI K.: *Fémszerkezetek innovatív tervezése*. Gazdász-Elasztik Kiadó és Nyomda, Miskolc 2015.
- [5] WARDENIER J. et al: *Design guide for circular hollow section (CHS) joints under predominantly static loading*. Köln, TÜV Rheinland, 1991.
- [6] Eurocode 3. *Design of steel structures*. Part 1-1. General structural rules. EN 1993-1-1., Brussels, CEN, 2002.
- [7] RONDAL J. et al.: *Structural stability of hollow sections*. Köln, TÜV Rheinland, 1992.
- [8] FARKAS J.: *Minimum volume and cost design of a welded square cellular plate with welded T-stiffeners*. In “Design, fabrication and economy of metal structures. Int. Conf. Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, K. Jármái & J. Farkas eds” 3-9.